

讲堂 > Linux性能优化实战 > 文章详情

11 | 套路篇：如何迅速分析出系统CPU的瓶颈在哪里？

2018-12-14 倪朋飞



11 | 套路篇：如何迅速分析出系统CPU的瓶颈在哪里？

朗读人：冯永吉 15'24" | 14.12M

你好，我是倪朋飞。

前几节里，我通过几个案例，带你分析了各种常见的 CPU 性能问题。通过这些，我相信你对 CPU 的性能分析已经不再陌生和恐惧，起码有了基本的思路，也了解了不少 CPU 性能的分析工具。

不过，我猜你可能也碰到了一个我曾有过的困惑：CPU 的性能指标那么多，CPU 性能分析工具也是一抓一大把，如果离开专栏，换成实际的工作场景，我又该观察什么指标、选择哪个性能工具呢？

不要担心，今天我就以多年的性能优化经验，给你总结出一个“又快又准”的瓶颈定位套路，告诉你在不同场景下，指标工具怎么选，性能瓶颈怎么找。

CPU 性能指标

我们先来回顾下，描述 CPU 的性能指标都有哪些。你可以自己先找张纸，凭着记忆写一写；或者打开前面的文章，自己总结一下。

首先，**最容易想到的应该是 CPU 使用率**，这也是实际环境中最常见的一个性能指标。

CPU 使用率描述了非空闲时间占总 CPU 时间的百分比，根据 CPU 上运行任务的不同，又被分为用户 CPU、系统 CPU、等待 I/O CPU、软中断和硬中断等。

- 用户 CPU 使用率，包括用户态 CPU 使用率（user）和低优先级用户态 CPU 使用率（nice），表示 CPU 在用户态运行的时间百分比。用户 CPU 使用率高，通常说明有应用程序比较繁忙。
- 系统 CPU 使用率，表示 CPU 在内核态运行的时间百分比（不包括中断）。系统 CPU 使用率高，说明内核比较繁忙。
- 等待 I/O 的 CPU 使用率，通常也称为 iowait，表示等待 I/O 的时间百分比。iowait 高，通常说明系统与硬件设备的 I/O 交互时间比较长。
- 软中断和硬中断的 CPU 使用率，分别表示内核调用软中断处理程序、硬中断处理程序的时间百分比。它们的使用率高，通常说明系统发生了大量的中断。
- 除了上面这些，还有在虚拟化环境中会用到的窃取 CPU 使用率（steal）和客户 CPU 使用率（guest），分别表示被其他虚拟机占用的 CPU 时间百分比，和运行客户虚拟机的 CPU 时间百分比。

第二个比较容易想到的，应该是平均负载（Load Average），也就是系统的平均活跃进程数。它反应了系统的整体负载情况，主要包括三个数值，分别指过去 1 分钟、过去 5 分钟和过去 15 分钟的平均负载。

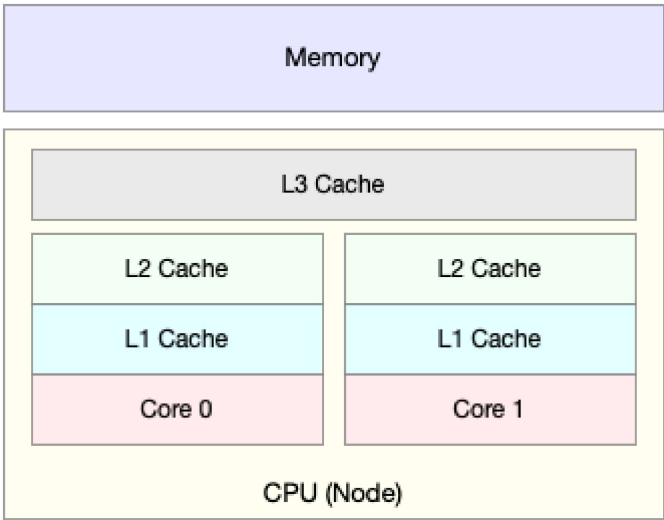
理想情况下，平均负载等于逻辑 CPU 个数，这表示每个 CPU 都恰好被充分利用。如果平均负载大于逻辑 CPU 个数，就表示负载比较重了。

第三个，也是在专栏学习前你估计不太会注意到的，进程上下文切换，包括：

- 无法获取资源而导致的自愿上下文切换；
- 被系统强制调度导致的非自愿上下文切换。

上下文切换，本身是保证 Linux 正常运行的一项核心功能。但过多的上下文切换，会将原本运行进程的 CPU 时间，消耗在寄存器、内核栈以及虚拟内存等数据的保存和恢复上，缩短进程真正运行的时间，成为性能瓶颈。

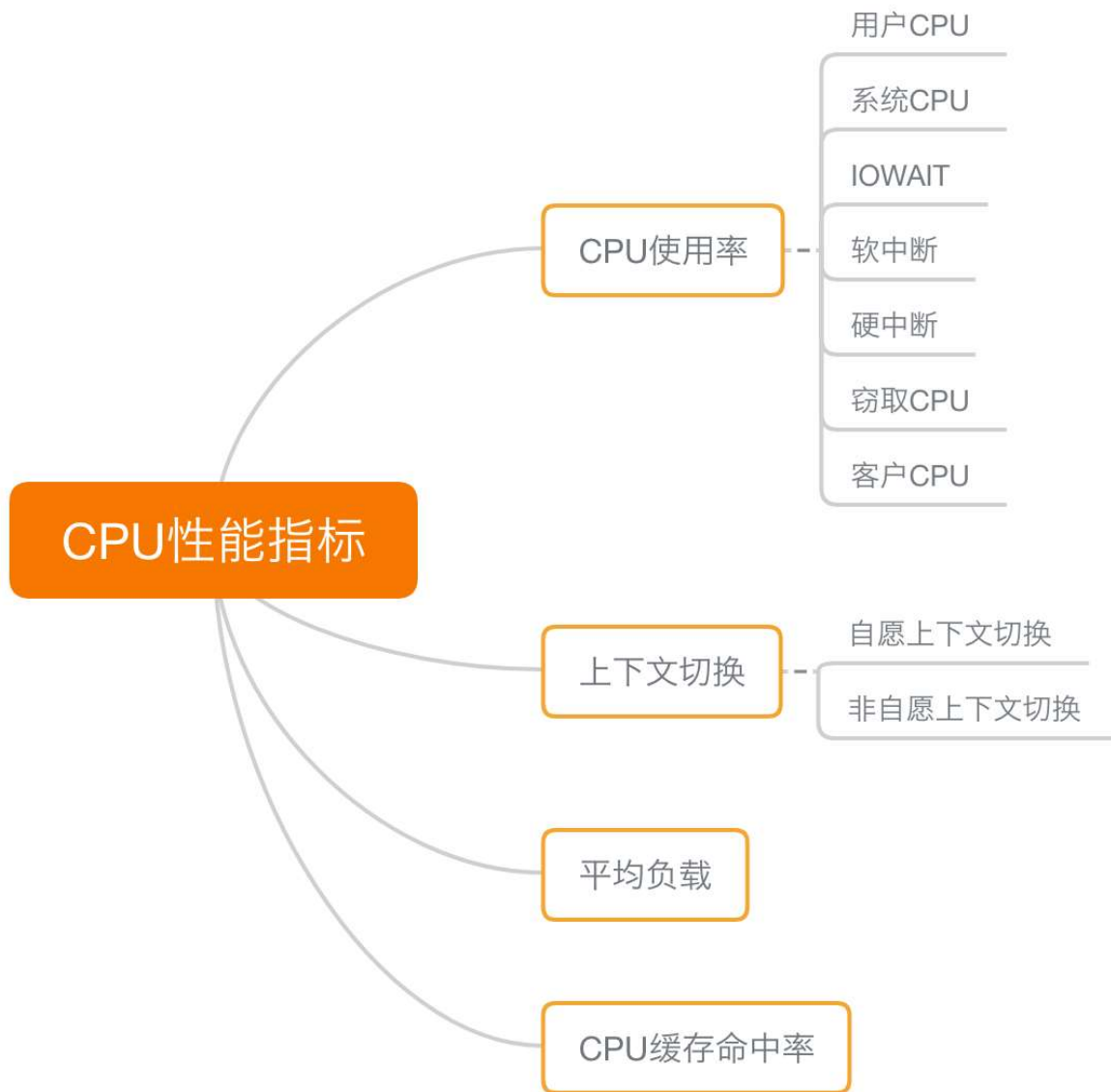
除了上面几种，**还有一个指标，CPU 缓存的命中率**。由于 CPU 发展的速度远快于内存的发展，CPU 的处理速度就比内存的访问速度快得多。这样，CPU 在访问内存的时候，免不了要等待内存的响应。为了协调这两者巨大的性能差距，CPU 缓存（通常是多级缓存）就出现了。



就像上面这张图显示的，CPU 缓存的速度介于 CPU 和内存之间，缓存的是热点的内存数据。根据不断增长的热点数据，这些缓存按照大小不同分为 L1、L2、L3 等三级缓存，其中 L1 和 L2 常用在单核中，L3 则用在多核中。

从 L1 到 L3，三级缓存的大小依次增大，相应的，性能依次降低（当然比内存还是好得多）。而它们的命中率，衡量的是 CPU 缓存的复用情况，命中率越高，则表示性能越好。

这些指标都很有用，需要我们熟练掌握，所以我总结成了一张图，帮你分类和记忆。你可以保存打印下来，随时查看复习，也可以当成 CPU 性能分析的“指标筛选”清单。



性能工具

掌握了 CPU 的性能指标，我们还需要知道，怎样去获取这些指标，也就是工具的使用。

你还记得前面案例都用了哪些工具吗？这里我们也一起回顾一下 CPU 性能工具。

首先，平均负载的案例。我们先用 `uptime`，查看了系统的平均负载；而在平均负载升高后，又用 `mpstat` 和 `pidstat`，分别观察了每个 CPU 和每个进程 CPU 的使用情况，进而找出了导致平均负载升高的进程，也就是我们的压测工具 `stress`。

第二个，上下文切换的案例。我们先用 `vmstat`，查看了系统的上下文切换次数和中断次数；然后通过 `pidstat`，观察了进程的自愿上下文切换和非自愿上下文切换情况；最后通过 `pidstat`，观察了线程的上下文切换情况，找出了上下文切换次数增多的根源，也就是我们的基准测试工具 `sysbench`。

第三个，进程 CPU 使用率升高的案例。我们先用 `top`，查看了系统和进程的 CPU 使用情况，发现 CPU 使用率升高的进程是 `php-fpm`；再用 `perf top`，观察 `php-fpm` 的调用链，最终找出 CPU 升高的根源，也就是库函数 `sqrt()`。

第四个，系统的 CPU 使用率升高的案例。我们先用 `top` 观察到了系统 CPU 升高，但通过 `top` 和 `pidstat`，却找不出高 CPU 使用率的进程。于是，我们重新审视 `top` 的输出，又从 CPU 使用率不高但处于 `Running` 状态的进程入手，找出了可疑之处，最终通过 `perf record` 和 `perf report`，发现原来是短时进程在捣鬼。

另外，对于短时进程，我还介绍了一个专门的工具 `execsnoop`，它可以实时监控进程调用的外部命令。

第五个，不可中断进程和僵尸进程的案例。我们先用 `top` 观察到了 `iowait` 升高的问题，并发现了大量的不可中断进程和僵尸进程；接着我们用 `dstat` 发现这是由磁盘读导致的，于是又通过 `pidstat` 找出了相关的进程。但我们用 `strace` 查看进程系统调用却失败了，最终还是用 `perf` 分析进程调用链，才发现根源在于磁盘直接 I/O。

最后一个，软中断的案例。我们通过 `top` 观察到，系统的软中断 CPU 使用率升高；接着查看 `/proc/softirqs`，找到了几种变化速率较快的软中断；然后通过 `sar` 命令，发现是网络小包的问题，最后再用 `tcpdump`，找出网络帧的类型和来源，确定是一个 `SYN FLOOD` 攻击导致的。

到这里，估计你已经晕了吧，原来短短几个案例，我们已经用过十几种 CPU 性能工具了，而且每种工具的适用场景还不同呢！这么多的工具要怎么区分呢？在实际的性能分析中，又该怎么选择呢？

我的经验是，从两个不同的维度来理解它们，做到活学活用。

活学活用，把性能指标和性能工具联系起来

第一个维度，从 CPU 的性能指标出发。也就是说，当你要查看某个性能指标时，要清楚知道哪些工具可以做到。

根据不同的性能指标，对提供指标的性能工具进行分类和理解。这样，在实际排查性能问题时，你就可以清楚知道，什么工具可以提供你想要的指标，而不是毫无根据地挨个尝试，撞运气。

其实，我在前面的案例中已经多次用到了这个思路。比如用 `top` 发现了软中断 CPU 使用率高后，下一步自然就想知道具体的软中断类型。那在哪里可以观察各类软中断的运行情况呢？当然是 `proc` 文件系统中的 `/proc/softirqs` 这个文件。

紧接着，比如说，我们找到的软中断类型是网络接收，那就要继续往网络接收方向思考。系统的网络接收情况是什么样的？什么工具可以查到网络接收情况呢？在我们案例中，用的正是 `dstat`。

虽然你不需要把所有工具背下来，但如果能理解每个指标对应的工具的特性，一定更高效、更灵活地使用。这里，我把提供 CPU 性能指标的工具做成了一个表格，方便你梳理关系和理解记忆，当然，你也可以当成一个“指标工具”指南来使用。

根据指标找工具（CPU性能）		
性能指标	工具	说明
平均负载	uptime top	uptime最简单； top提供了更全的指标
系统整体CPU使用率	vmstat mpstat top sar /proc/stat	top、vmstat、mpstat 只可以动态查看， 而 sar 还可以记录历史数据 /proc/stat是其他性能工具的数据来源
进程CPU使用率	top pidstat ps htop atop	top和ps可以按CPU使用率给进程排序， 而pidstat只显示实际用了CPU的进程 htop和atop以不同颜色显示更直观
系统上下文切换	vmstat	除了上下文切换次数， 还提供运行状态和不可中断状态进程的数量
进程上下文切换	pidstat	注意加上 -w 选项
软中断	top /proc/softirqs mpstat	top提供软中断CPU使用率， 而/proc/softirqs和mpstat提供了各种软 中断在每个CPU上的运行次数
硬中断	vmstat /proc/interrupts	vmstat提供总的中断次数， 而/proc/interrupts提供各种中断在每个 CPU上运行的累积次数
网络	dstat sar tcpdump	dstat和sar提供总的网络接收和发送情况， 而tcpdump则是动态抓取正在进行的网络 通讯
I/O	dstat sar	dstat和sar都提供了I/O的整体情况
CPU 个数	/proc/cpuinfo lscpu	lscpu更直观
事件剖析	perf execsnoop	perf可以用来分析CPU的缓存以及内核调用 链，execsnoop用来监控短时进程

下面，我们再来看第二个维度。

第二个维度，从工具出发。也就是当你已经安装了某个工具后，要知道这个工具能提供哪些指标。

这在实际环境特别是生产环境中也是非常重要的，因为很多情况下，你并没有权限安装新的工具包，只能最大化地利用好系统中已经安装好的工具，这就需要你对它们有足够的了解。

具体到每个工具的使用方法，一般都支持丰富的配置选项。不过不用担心，这些配置选项并不用背下来。你只要知道有哪些工具、以及这些工具的基本功能是什么就够了。真正要用到的时候，通过 `man` 命令，查它们的使用手册就可以了。

同样的，我也将这些常用工具汇总成了一个表格，方便你区分和理解，自然，你也可以当成一个“工具指标”指南使用，需要时查表即可。

根据工具查指标（CPU性能）	
性能工具	CPU性能指标
uptime	平均负载
top	平均负载、运行队列、整体的CPU使用率以及每个进程的状态和CPU使用率
htop	top增强版，以不同颜色区分不同类型的进程，更直观
atop	CPU、内存、磁盘和网络等各种资源的全面监控
vmstat	系统整体的CPU使用率、上下文切换次数、中断次数，还包括处于运行和不可中断状态的进程数量
mpstat	每个CPU的使用率和软中断次数
pidstat	进程和线程的CPU使用率、中断上下文切换次数
/proc/softirqs	软中断类型和在每个CPU上的累积中断次数
/proc/interrupts	硬中断类型和在每个CPU上的累积中断次数
ps	每个进程的状态和CPU使用率
pstree	进程的父子关系
dstat	系统整体的CPU使用率
sar	系统整体的CPU使用率，包括可配置的历史数据
strace	进程的系统调用
perf	CPU性能事件剖析，如调用链分析、CPU缓存、CPU调度等
execsnoop	监控短时进程

如何迅速分析 CPU 的性能瓶颈

我相信到这一步，你对 CPU 的性能指标已经非常熟悉，也清楚每种性能指标分别能用什么工具来获取。

那是不是说，每次碰到 CPU 的性能问题，你都要把上面这些工具全跑一遍，然后再把所有的 CPU 性能指标全分析一遍呢？

你估计觉得这种简单查找的方式，就像是在傻找。不过，别笑话，因为最早的时候我就是这么做的。把所有的指标都查出来再统一分析，当然是可以的，也很可能找到系统的潜在瓶颈。

但是这种方法的效率真的太低了！耗时耗力不说，在庞大的指标体系面前，你一不小心可能就忽略了某个细节，导致白干一场。我就吃过好多次这样的苦。

所以，在实际生产环境中，我们通常都希望尽可能**快**地定位系统的瓶颈，然后尽可能**快**地优化性能，也就是要又快又准地解决性能问题。

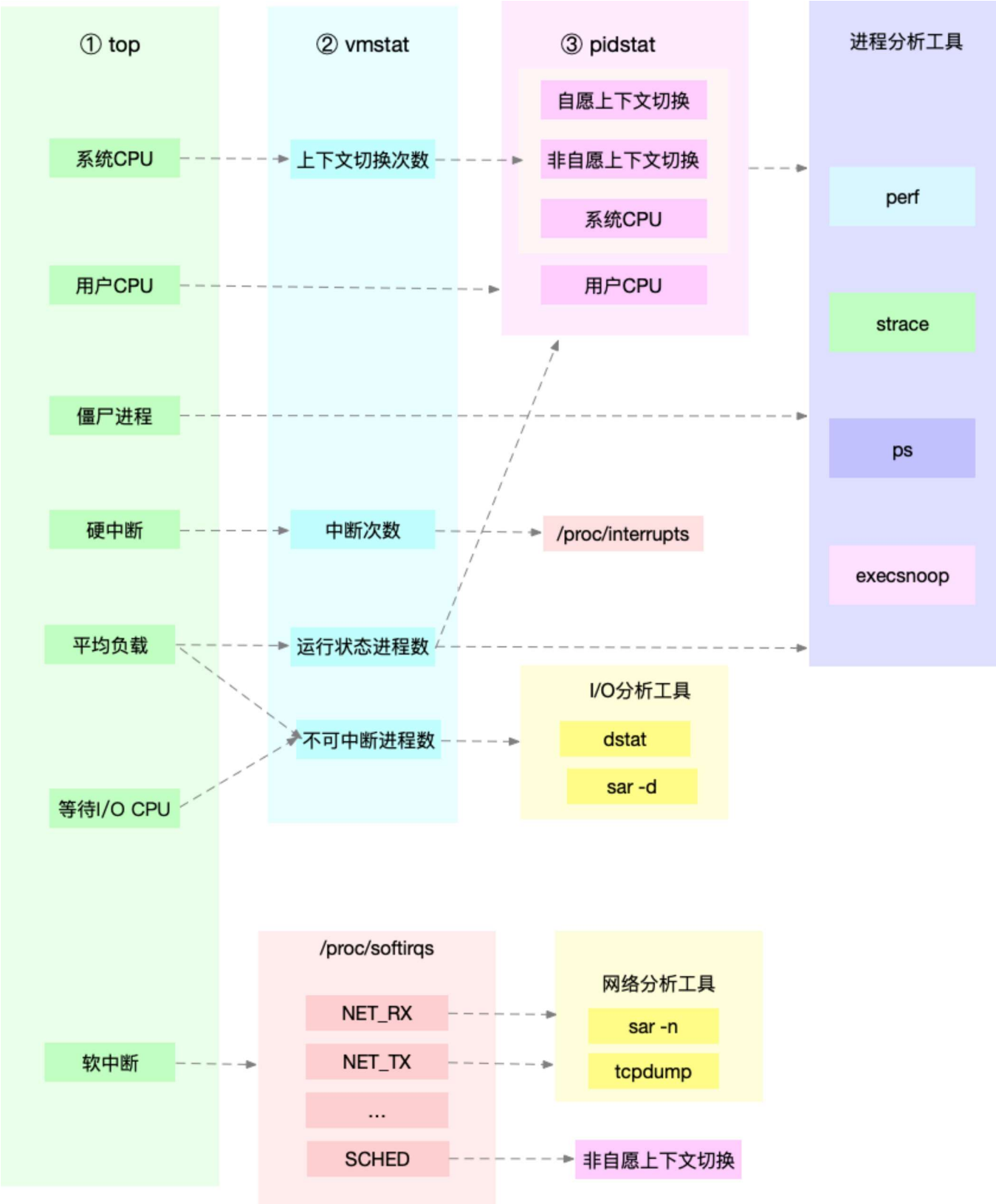
那有没有什么方法，可以又快又准找出系统瓶颈呢？答案是肯定的。

虽然 CPU 的性能指标比较多，但要知道，既然都是描述系统的 CPU 性能，它们就不会是完全孤立的，很多指标间都有一定的关联。**想弄清楚性能指标的关联性，就要通晓每种性能指标的工作原理**。这也是为什么我在介绍每个性能指标时，都要穿插讲解相关的系统原理，希望你能记住这一点。

举个例子，用户 CPU 使用率高，我们应该去排查进程的用户态而不是内核态。因为用户 CPU 使用率反映的就是用户态的 CPU 使用情况，而内核态的 CPU 使用情况只会反映到系统 CPU 使用率上。

你看，有这样的基本认识，我们就可以缩小排查的范围，省时省力。

所以，为了**缩小排查范围**，我通常会先运行几个支持指标较多的工具，如 **top**、**vmstat** 和 **pidstat**。为什么是这三个工具呢？仔细看看下面这张图，你就清楚了。



这张图里，我列出了 top、vmstat 和 pidstat 分别提供的重要的 CPU 指标，并用虚线表示关联关系，对应出了性能分析下一步的方向。

通过这张图你可以发现，这三个命令，几乎包含了所有重要的 CPU 性能指标，比如：

- 从 top 的输出可以得到各种 CPU 使用率以及僵尸进程和平均负载等信息。
- 从 vmstat 的输出可以得到上下文切换次数、中断次数、运行状态和不可中断状态的进程数。

- 从 `pidstat` 的输出可以得到进程的用户 CPU 使用率、系统 CPU 使用率、以及自愿上下文切换和非自愿上下文切换情况。

另外，这三个工具输出的很多指标是相互关联的，所以，我也用虚线表示了它们的关联关系，举几个例子你可能会更容易理解。

第一个例子，`pidstat` 输出的进程用户 CPU 使用率升高，会导致 `top` 输出的用户 CPU 使用率升高。所以，当发现 `top` 输出的用户 CPU 使用率有问题时，可以跟 `pidstat` 的输出做对比，观察是否是某个进程导致的问题。

而找出导致性能问题的进程后，就要用进程分析工具来分析进程的行为，比如使用 `strace` 分析系统调用情况，以及使用 `perf` 分析调用链中各级函数的执行情况。

第二个例子，`top` 输出的平均负载升高，可以跟 `vmstat` 输出的运行状态和不可中断状态的进程数做对比，观察是哪种进程导致的负载升高。

- 如果是不可中断进程数增多了，那么就需要做 I/O 的分析，也就是用 `dstat` 或 `sar` 等工具，进一步分析 I/O 的情况。
- 如果是运行状态进程数增多了，那就需要回到 `top` 和 `pidstat`，找出这些处于运行状态的到底是什么进程，然后再用进程分析工具，做进一步分析。

最后一个例子，当发现 `top` 输出的软中断 CPU 使用率升高时，可以查看 `/proc/softirqs` 文件中各种类型软中断的变化情况，确定到底是哪种软中断出的问题。比如，发现是网络接收中断导致的问题，那就可以继续用网络分析工具 `sar` 和 `tcpdump` 来分析。

注意，我在这个图中只列出了最核心的几个性能工具，并没有列出所有。这么做，一方面是不想用大量的工具列表吓到你。在学习之初就接触所有或核心或小众的工具，不见得是好事。另一方面，是希望你能先把重心放在核心工具上，毕竟熟练掌握它们，就可以解决大多数问题。

所以，你可以保存下这张图，作为 CPU 性能分析的思路图谱。从最核心的这几个工具开始，通过我提供的那些案例，自己在真实环境里实践，拿下它们。

小结

今天，我带你回忆了常见的 CPU 性能指标，梳理了常见的 CPU 性能观测工具，最后还总结了快速分析 CPU 性能问题的思路。

虽然 CPU 的性能指标很多，相应的性能分析工具也很多，但熟悉了各种指标的含义之后，你就会发现它们其实都有一定的关联。顺着这个思路，掌握常用的分析套路并不难。

思考

由于篇幅限制，我在这里只举了几个最常见的案例，帮你理解 CPU 性能问题的原理和分析方法。你肯定也碰到过很多跟这些案例不同的 CPU 性能问题吧。我想请你一起来聊聊，你碰到过什么不一样的 CPU 性能问题呢？你又是怎么分析出它的瓶颈的呢？

欢迎在留言区和我讨论，也欢迎你把这篇文章分享给你的同事、朋友。我们一起在实战中演练，在交流中进步。



Linux 性能优化实战

10 分钟帮你找到系统瓶颈

倪朋飞 微软资深工程师
Kubernetes 项目维护者



新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

©版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

上一篇 10 | 案例篇：系统的软中断CPU使用率升高，我该怎么办？

下一篇 12 | 套路篇：CPU 性能优化的几个思路

写留言

精选留言



每天晒白牙

【D11打卡】

总结篇文章，可以多看看，多操作，遇到问题可以按照思路分析，慢慢内化成自己的思路

2018-12-14

作者回复



2018-12-14

3



我来也

[D11打卡]

这简直就是小抄 😊

好像在我的场景中,使用老师提到的这些工具就够用了.

先把这些性价比高的工具琢磨好了,以后有精力了再去学些小众的.

感谢老师帮我们挑出了重点,哈哈!

时间就是金钱啊,感谢老师帮我们节约时间,更高效的学习.👍

2018-12-14

作者回复



2018-12-17

👍 2



唯美

老师, 环境上有个tomcat, 用户cpu 一直是100%, 我用strace -c -p pid 命令, 查到是 futex(0x402f4900, FUTEX_WAIT, 2, NULL, 看到是futex 是linux 的用户空间 和系统空间的一种同步机制, 这对于java 编写的tomcat, 怎么会造成这种问题, 怎么理解呢? ,

2018-12-15

👍 1



划时代

整体回顾复习了实践案例, 实践练习消化, CPU性能指标关系详解图很赞。

2018-12-14

作者回复



2018-12-14

👍 1



大飞

打卡

2018-12-17

👍 0



王涛

D11打卡。图片非常有用, 感谢分享

2018-12-17

👍 0



石壹笑

我试了试我的机器 perf report 90%以上都是 swapper 😊

2018-12-17

👍 0



王旧业

请问有pdf格式或者其他能够打印的讲义吗? 想打印出来

2018-12-16

作者回复

sorry, 据我所知没有PDF, 只在我们的app里面

2018-12-17

👍 0



bluefantasy1

👍 0

请教老师一个问题：一般情况下Linux操作系统本身（裸系统）大约占用多少内存？或者用什么命令大概来查看一下？用top命令减去应用占用的内存，这么计算可以吗？

2018-12-16



小老鼠

👍 0

Windows CPU与Linux有什么不同？

2018-12-16

作者回复

原理上来说是类似的，只是操作系统不同，分析的工具也不一样

2018-12-17



Vicky🙄🙄🙄

👍 0

谢谢老师对平均负载和CPU使用率这部分问题排查的详细讲解

还有一个不太懂的地方：

steal 窃取CPU使用率，虚拟机占用的CPU的使用率是说，系统运行虚拟机这个行为所占的CPU吗？

guest 客户所占CPU使用率，运行虚拟机所占CPU使用率，是说这个虚拟机在运行的时候，所占的CPU使用率吗？

2018-12-16



善良的男人

👍 0

各个命令中的 usr 和 sys 到底是啥意思 感觉好乱啊

2018-12-15

作者回复

跟top命令里看到的是一个意思

2018-12-17



湖湘志

👍 0

D11

2018-12-15



王崧霖

👍 0

总结的不错，cpu的亲和性可以讲讲。

2018-12-14



夜空中最亮的星（华仔）

👍 0

图已经拖拖的保存了，是不是就翻出来看看，在公司服务器上练练手。

2018-12-14

作者回复



2018-12-14





俊飞

👍 0

倪老师，后面的课程有关于内存使用情况的分析案例吗？我们这边大部分都是内存消耗严重，cpu使用都正常，找到了占用内存的应用进程，但又找不出这个应用进程具体哪里占用了大量内存，希望老师能指点迷津。

2018-12-14

| 作者回复

嗯 有的

2018-12-14



留意

👍 0

在看这篇文章之前，我还在考虑之前那么多各种工具到底怎么下手，今天看完，真是惊喜

2018-12-14

| 作者回复



2018-12-14



western

👍 0

老师真的很贴心了，这些应该自己来总结的。
做的太多，反而让学习者的学习能力退化了。

2018-12-14

| 作者回复

欢迎分享你的总结😊

2018-12-14



walker

👍 0

上下文切换和CPU中断是不是同一个概念

2018-12-14

| 作者回复

不是，比如我们说进程上下文时还涉及进程的虚拟内存切换

2018-12-14



2xshu

👍 0

老师你好，非常感谢你能回答之前我提出的问题。我现在有个问题想请教下。
机器情况如下：

```
[root@10.xx.xx.xxx ~]# numactl -H
available: 2 nodes (0-1)
node 0 cpus: 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
node 0 size: 130978 MB
node 0 free: 9566 MB
node 1 cpus: 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31
node 1 size: 131072 MB
node 1 free: 119623 MB
node distances:
```

```
node 0 1
0: 10 21
1: 21 10
```

服务器任务情况：

在这台服务器上运行了两百个进程，每个进程任务是平级的，每个进程基本是下载文件任务。

直观现象：

- 1：根据zabbix监控，该服务器每隔6个小时左右会有一次内存大量回收。也就是已用内存从250g掉到了20g左右。
- 2：在掉内存的时候，服务器性能是出现问题了。最直观的表现就是网络连接建立不了。

我的解决办法：

根据上面numa的输出，我就发现两个node可用内存相差太大了。然后我果断把zone_reclaim_mode从1改成了0.然后问题得到解决了。（实属运气型解bug。哈哈）

其他现象：

- 1：查看/proc/stat发现很多 user时钟都集中在node0对应的cpu上。
- 2：zone_reclaim_mode=1时，kswap0线程，始终处于sleep状态,sar -B看pgscank对应值始终为0。改成0之后，kswap0就能得到调用。sar -B看pgscank也确实有被值了。

虽然问题解决了，但是还是疑问重重。

疑问如下：

- 1：我认为导致内存突然回收的根源在于cpu调度不均匀导致。不知道我的猜测是不是正确？（有没有相关资料推荐下哇，感激涕零啊。）
- 2：从现象来看，确实是有cpu调度不均的情况出现。那么为什么会出现cpu调度不均呢？我这200个进程都拥有相同的父进程supervisord。
- 3：zone_reclaim_mode 到底是什么作用呢？查看各方资料，在内存对应zone的水位不充足时，如果zone_reclaim_mode=0时，不会调用zone_reclaim函数，并把自己标记为zone_full。
- 4：继问题3，如果当前zone被标记为 zone_full，是不是就代表了zone的vmark_low分配失败了呢？

大概现象和问题差不多就是这些。非常希望老师能帮忙分析下。有相关资料推荐也行。特此感谢。

2018-12-14

作者回复

这个问题应该要先找出回收的是什么内存，然后就很容易找出原因了。建议监控下问题前后的CPU和内存资源使用情况，比如 vmstat、top 这些的输出。

不要担心，接下来就会讲内存了

2018-12-14